

УДК 621.397.13

DOI: 10.214151/1561-5405-2017-22-5-494-499

**Применение векторных полей
для анализа и прогнозирования движения
в цифровых динамических видеоизображениях**

Е.И. Минаков, Д.С. Калистратов

Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

EMinakov@bk.ru

Компенсация движения в цифровых динамических видеоизображениях проводится с целью повышения коэффициента компрессии видеoinформации и обеспечения энергетической эффективности телевизионных систем в целом.

© Е.И. Минаков, Д.С. Калистратов, 2017

Описаны подходы к решению задачи компенсации движения. Предложен метод компенсации движения на основе применения математического аппарата векторных полей, позволяющий ускорить процесс компенсации кадрового движения за счет выявления областей изображения, фрагменты которых имеют схожие скоростные характеристики. Приведены результаты моделирования.

Разработанный метод позволяет сократить затраты машинного времени на компенсацию движения в видеоизображениях почти вдвое при тех же показателях объемов кода и качества декодируемых изображений.

Ключевые слова: видеоизображение; компрессия; прогнозирование движения; фрагментация; скорость; многомерная функция; векторное поле; градиент; ротор.

Для цитирования: Минаков Е.И., Калистратов Д.С. Применение векторных полей для анализа и прогнозирования движения в цифровых динамических видеоизображениях // Изв. вузов. Электроника. – 2017. – Т. 22. – № 5. – С. 494–499. DOI: 10.21415/1561-5405-2017-22-5-494-499

Application of Vector Fields for Analysis and Motion Compensation Prediction in Dynamic Digital Video Images

E.I. Minakov, D.S. Kalistratov

Tula State University, Tula, Russia

EMinakov@bk.ru

The problem of the motion compensation in digital dynamic video images is urgent. The motion compensation for the purpose to improve the compression ratio of video information and to ensure the energy efficiency of television systems as a whole is being carried out.

The existing approaches to solving the motion compensation problem have been described. The method of the motion compensation prediction on the basis of the mathematical apparatus of vector fields, which has made it possible to accelerate the process of movement compensation due to identifying the area of the image, the fragments of which have similar speed characteristics, has been proposed. The results of the given method simulation have been presented.

The developed method allows an almost twice reduction of the computer time for the motion compensation in video images with the same indices of code volume and the quality of the images being decoded.

Keywords: video image; compression; motion prediction; fragmentation; speed; multidimensional function; a vector field; gradient; rotor.

For citation: Minakov E.I., Kalistratov D.S. Application of Vector Fields for Analysis and Motion Compensation Prediction in Dynamic Digital Video Images // Proc. of Universities. Electronics. – 2017. – Vol. 22. – № 5. – P. 494–499. DOI: 10.21415/1561-5405-2017-22-5-494-499

Одно из основных направлений современного цифрового телевидения [1,2] – компрессия (сжатие по объему) видеоизображений, проводимая с целью сокращения энергетических затрат на передачу информации по каналам связи.

В рамках компрессии видеосигнала [3–5] актуальной является задача компенсации движения [6,7] в потоке кадровых изображений, необходимая для учета динамических свойств проекций в процессе кодирования сигнала.

В существующих методах компенсации движения используется фрагментарный подход, согласно которому все текущее изображение разбивается на более мелкие блоки, а далее

компенсация движения проводится для каждого блока в отдельности. Методы малоэффективны с точки зрения временных затрат, поскольку для каждого фрагмента изображения поиск координат его положения в разных по времени кадрах проводится посредством перебора возможных вариантов, что сопряжено со значительными затратами машинного времени. Вследствие этого возникает необходимость разработки методов, которые позволяли бы проводить компенсацию движения, опираясь не на все, а только на некоторую часть подвижных блоков кадра.

С учетом того, что скорость движения фрагментов изображения является вектор-функцией от двух аргументов, задающих координаты блоков в плоскости кадрового изображения, для анализа и прогнозирования движения проекций объектов разработан метод с использованием математического аппарата векторных полей [8].

В зависимости от численных значений математических величин векторные поля классифицируются по виду (потенциальное, вихревое, безвихревое и т.д.). Таким образом, в разработанном методе каждой подвижной проекции ставилось в соответствие поле определенного типа.

Так, например, согласно результатам моделирования потенциальное векторное поле удобно использовать для описания скоростей движения фрагментов при поступательном движении проекции (рис.1,а). Движение блоков происходит слева направо с определенной линейной скоростью v . Векторное поле скоростей блоков по определению должно удовлетворять условию:

$$\mathbf{a}(M) = \text{grad } u(M),$$

где $\mathbf{a}(M)$ – значение векторного поля скоростей блоков в точке M ; $u(M)$ – значение скалярного поля в точке M с координатами x, y .

Скалярная функция u в этом случае может линейно зависеть от x и не зависеть от y (имеется в виду отсутствие слагаемого с y , хотя формально функция остается двумерной).

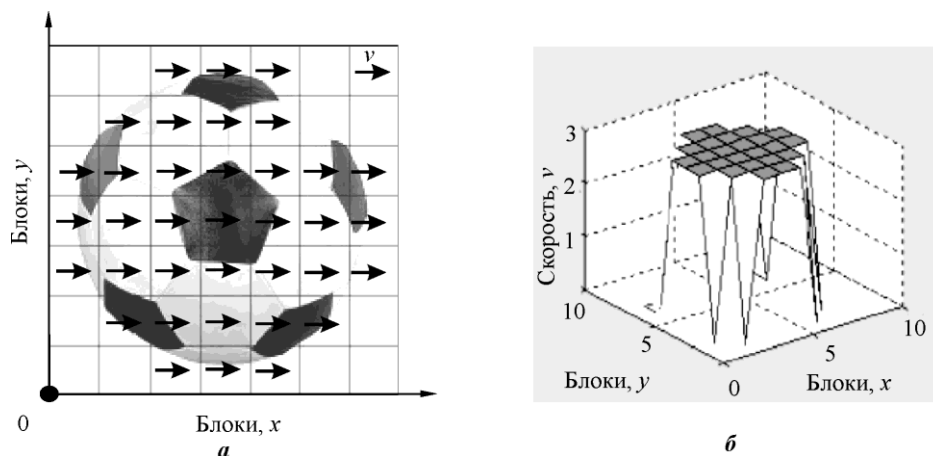


Рис.1. Пример использования потенциального векторного поля: а – подвижный объект с полем скоростей; б – зависимость линейных скоростей блоков вдоль абсциссы от координат блоков

Fig.1. Example of using a potential vector field: а – moving object with a speed field; б – the dependence of the linear speed of the blocks along the abscissa on the coordinates of the blocks

На рис.1,б приведена зависимость линейных скоростей блоков вдоль оси x от координат блоков, отражающая направленное движение фрагментов изображения при примерном равенстве абсолютных значений скоростей их движения. В этом случае векторы скоростей всех блоков проекции имеют почти одинаковое направление, а модули векторов примерно равны между собой.

Таким образом, в случае поступательного движения объекта неизменяемой геометрической формы вдоль координат x, y скорость движения фрагментов его проекции может быть описана потенциальным векторным полем.

Еще одним примером является вихревое поле, которое целесообразно использовать для описания линейных скоростей движения фрагментов при вращательном движении проекции (рис.2,а). Как видим из рисунка, вращение происходит по часовой стрелке с определенной угловой скоростью ω . Для точек области определения вихревого векторного поля должно быть справедливо

$$\text{rota}(M) \neq 0.$$

Этот факт использован для обнаружения проекций с вихревым векторным полем.

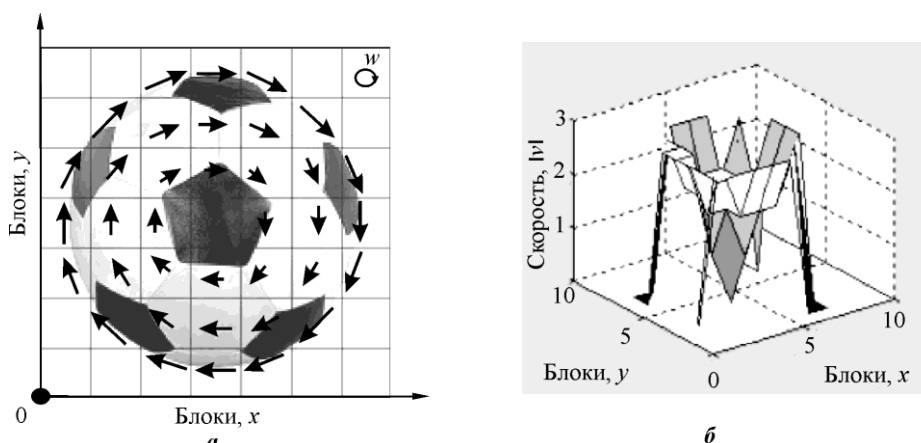


Рис.2. Пример использования вихревого векторного поля: а – подвижный объект с полем скоростей; б – зависимость модулей линейных скоростей от координат блоков

Fig.2. An example of using a vortex vector field: а – moving object with a speed field; б – dependence of the absolute values of linear speed on the coordinates of the blocks

Для описания линейных скоростей приведем график зависимости абсолютных значений скоростей блоков от их координат (рис.2,б). Как следует из рисунка, линейные скорости блоков возрастают при отдалении от оси вращения, вследствие чего при достаточно большом количестве блоков график приобретает конический вид. Следовательно, в случае вращательного движения объекта неизменяемой геометрической формы вокруг оси, перпендикулярной плоскости кадрового изображения, линейная скорость движения фрагментов проекции данного объекта может быть охарактеризована вихревым векторным полем.

Суть применения векторных полей в рамках задачи анализа и прогнозирования движения состоит в том, чтобы с целью экономии машинного времени классифицировать векторные поля и определять их параметры можно было по незначительному количеству опорных блоков (обычно используются три опорных блока), а применять данные поля впоследствии к большому числу блоков. При этом сначала проекция крупного объекта выделяется с помощью пиксельной маски движения. Далее осуществляется переход от пиксельной маски движения к блочной. Для каждого подвижного блока по флагам движения его соседних блоков вычисляется вероятность его принадлежности к центру проекции. Блок, имеющий наибольшее значение указанной вероятности, признается центральным. Оставшаяся пара опорных блоков задается отступами от центрального блока по координатным осям. Величина отступа составляет один или несколько блоков.

Таким образом, в качестве опорных используются всего три блока (центральный и два периферийных). Однако характеристики векторных полей, полученных в результате анализа

движения опорных блоков, позволяют прогнозировать движение всех блоков, расположенных возле опорной группы.

Алгоритм компенсации движения, использованный в предлагаемом методе, сводится к следующим шагам: идентификация крупных проекций объектов неизменяемой геометрической формы; вычисление параметров для опорных блоков проекций (градиент, ротор); классификация выделенных проекций по принадлежности их поля скоростей к определенному виду векторных полей (вихревое, потенциальное и др.); вычисление параметров полей; компенсация движения на основе векторных полей.

Итак, охватывая векторными полями целые группы подвижных блоков, затраты машинного времени на компенсацию движения в видеоизображениях, содержащих большие по площади проекции подвижных объектов (фигура человека перед web-камерой, движущийся автомобиль), удалось сократить почти вдвое при тех же показателях объемов кода и качества декодируемых изображений.

В ходе исследований использована модель видеокодека MPEG-4 базового профиля, а оценка качества изображения проведена на основе среднего абсолютного отклонения между сигналами кодированного и декодированного изображений. Качество изображения, в свою очередь, измерялось в относительных единицах яркости и задавалось числом из диапазона [0; 255] при использовании цветовой системы RGB с выделением одного байта под один компонент цвета для отдельно взятого пиксела.

Литература

1. **Карякин В.Л.** Цифровое телевидение: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: СОЛОН-ПРЕСС, 2013. – 448 с.
2. **Минаков Е.И., Калистратов Д.С.** Применение гибридных аналогово-цифровых систем для повышения эффективности телевизионных изображений // Электроника. – 2015. – № 1. – С. 100–103.
3. **Ричардсон Я.** Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения. – М.: Техносфера, 2005. – 368 с.
4. **Вернер М.** Основы кодирования. – М.: Техносфера, 2004. – 288 с.
5. **Сэломон Д.** Сжатие данных, изображений и звука. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.
6. **Минаков Е.И., Калистратов Д.С.** Режимы формирования кадровых прогнозов в компенсаторах движения видеообъектов // Изв. ТулГУ. Технические науки. – 2012. – Вып.11. – С. 188–193.
7. **Минаков Е.И., Калистратов Д.С.** Способ компенсации движения в цифровых динамических видеоизображениях // Патент России № 2552139. 2015. Бюл. № 16.
8. **Гаврилов В.Р., Иванова Е.Е., Морозова В.Д.** Кратные и криволинейные интегралы. Элементы теории поля. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2003. – 496с.

Поступило после доработки 18.05.2017 г.; принято к публикации 13.06.2017 г.

Минаков Евгений Иванович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры радиоэлектроники Тульского государственного университета (Россия, 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92), EMinakov@bk.ru

Калистратов Дмитрий Сергеевич – кандидат технических наук, докторант, ассистент кафедры радиоэлектроники Тульского государственного университета (Россия, 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92), Kalistratow@list.ru

References

1. Karyakin V.L. *Cifrovoe televidenie: uchebnoe posobie dlya vuzov*. 2-e izd., pererabotannoe i dopolnennoe [Digital television: a textbook for high schools, 2-nd ed., revised and supplemented]. Moscow, SOLON-PRESS, 2013. 448 p. (in Russian).
2. Minakov E.I., Kalistratov D.S. *Primenenie gibridnyh analogovo-cifrovyyh sistem dlya povysheniya ehffektivnosti televizionnyh izobrazhenij* [Application of hybrid analog-digital systems to improve the efficiency of television images]. *Elektronika – Electronics*, 2015, no. 1, pp. 100–103. (in Russian).
3. Richardson Ya. *Videokodirovanie. N.264 i MREG-4 – standarty novogo pokoleniya* [Video coding. H.264 and MREG-4 - standards of the new generation]. Moscow, Tekhnosfera, 2005. 368 p. (in Russian).

4. Verner M. *Osnovy kodirovaniya* [Fundamentals of coding]. Moscow, Tekhnosfera, 2004. 288 p. (in Russian).
5. Selomon D. *Szhatie dannyh, izobrazhenij i zvuka* [Compression of data, images and sound]. Moscow, Tekhnosfera, 2004. 368 p. (in Russian).
6. Minakov E.I., Kalistratov D.S. Rezhimy formirovaniya kadrovyyh prognozov v kompensatorah dvizheniya videoob"ektov [Modes of the formation of personnel forecasts in the compensators of the motion of video objects]. *Izvestiya Tul GU. Tekhnicheskie nauki –Proceedings of Tula State University. Technical science*, 2012, iss. 11, p.2, pp. 188–193. (in Russian).
7. Minakov E.I., Kalistratov D.S. *Sposob kompensacii dvizheniya v cifrovyyh dinamicheskikh videoizobrazheniyah* [Method of motion compensation in digital dynamic video images]. Patent na izobretenie № 2552139, 2015, opubl. 29.04.2015. (in Russian).
8. Gavrilov V.R., Ivanova E.E., Morozova V.D. *Kratnye i krivolinejnye integraly. Elementy teorii polya* [Multiple and curvilinear integrals. Elements of field theory]. Moscow, Izd-vo MGTU im. Baumana, 2003. 496 p. (in Russian).

Submitted 18.05.2017; accepted 13.06.2017.

Minakov Evgeny I. – Doctor of technical sciences, associate professor, professor of the Radioelectronics Department, Tula State University (Russia, 300012, Tula, Lenin pr., 92), EMinakov@bk.ru

Kalistratov Dmitry S. – PhD of technical sciences, doctoral student, assistant of the Radioelectronics Department, Tula State University (Russia, 300012, Tula, Lenin pr., 92), Kalistratow@list.ru